

F. エンゲルスの「運動の基本的諸形態」 (『自然の弁証法』)から見えてくること

樋 浦 明 夫*

徳島科学史学会の例会でエンゲルス著『自然の弁証法』のなかの「運動の基本的諸形態」について数回紹介した。これまでに理解、整理できたことを紹介したい。

本稿では、「運動の基本諸形態」と直接関係しない事柄にも触れている。それは、①弁証法、②原子核エネルギー、である。①は、エンゲルスの論稿を読み解くうえでの必要性から、最初に述べる。②は、エンゲルス没後から始まった原子核構造の解明とその変換の際に、エンゲルスの弁証法的な自然観を基にエネルギー収支の説明をする、いわば試論である。素粒子は、中性子、陽子、電子、ニュートリノ(中性微子)、光子、中間子(4種)などの耳慣れたものを含め、28種類知られていた(ガモフ全集別巻中、初版1959年)。現在、素粒子は陽子や中性子を構成するクォークとニュートリノ、電子を含むレプトンに分けられる。なお、陽子と中性子の間に介在して接着剤のような役割をもつ粒子(湯川の間接子=メソン)による核力と、それらの粒子を構成するクォークについては考えに入れていない。小林と益川は、3個のクォークしか知られていない時代に6個のクォークの存在とそれらの相互転化を予言した(1973年)。それらのことが実証されたことで、両氏は南部氏とともに今年(2008年)のノーベル物理学賞を受賞した。

エンゲルスは、19世紀末から始まる原子構造の解明を待たずにこの世を去った(1895年)。この駄文ではそれ以後の物理学上の発見についても触れているが、それは弁証法の試金石といわれる自然科学におけるその豊かさを提示したためである。

弁証法とはなにか

はじめに、ここに述べることは『自然における弁証法』中のことなので、弁証法とはどういうものかについて知ることがどうしても欠かせない。エンゲルスは、“弁証法、いわゆる客観的な弁証法は自然全体を支配するものであり、また弁証法的な思考、つまり主観的

弁証法は自然のいたるところでその真価を現しているところの、もろもろの対立における運動の反映にすぎない”と表現している。次の三つの弁証法の法則が挙げられている。

1. 量から質への転化と、その逆の質から量への転化。

質的な変化はただ物質または運動(いわゆるエネルギー)の量的な加減によってのみ起こりうる(エンゲルス)。たとえば、水は摂氏0度で液体から個体(氷)に移行し、摂氏100度で液体から気体に移行する。温度のたんなる量的な変化が水の状態の質的な変化をもたらす(量から質への転化)。原子量が増えるごとに異なった性質を持った元素になる(メンデレーフによる元素の周期律の発見、1869年)。また、物体の温度が上がるにつれて、温度の上昇にともなう光の振動数の増加(=エネルギーの増大、波長の減少)によって、放射される光は赤、黄、橙、青、紫と変化する。太陽や白熱電灯からの光は白色または無色で、これらの色が混ざったもの。波長によって異なる屈折率をもつプリズムは、こうしたいろんな波長が混ざった光を再び個々の波長に分離(分散)するので、われわれの眼に七色の連続スペクトルとして見える。虹は水滴がプリズムの役割をしてできる。

“年の功”ということばは、年齢を重ねるごとにものごとに習熟していく、あるいは世知にたけていく人間の質的变化を表す、量から質への世俗的な表現といえる。シェイクスピアは、このことを“人間は背丈だけが伸びるわけではない。体が成長すれば、本尊の心や魂も同時に成長する”と表現した。

不安定な原子、ウランUは放射線(α 線、 β 線、 γ 線)を出してより質量の少ない安定な鉛Pbに変換する(質から量への転化)。また物体は光速(30万km/秒。その速さは1秒間に地球を7.5周もする!)に近い速さで動くとその質量は変化(増大)する(特殊相対性理論)。今、地球温暖化で槍玉にあげられている炭酸ガス(二酸化炭素CO₂)を液体のCO₂にするにはその一定容積を圧縮してやる(体積を縮小)、さらに圧縮すると固体のCO₂(ドライアイス)になる(気体、液体、固体と

*徳島大学歯学部

いう質的な変化はその容積の量的な変化をとともう)。

まっとうな民意を読もうとしない(読めない)政権党の質の低下は、その構成関係の不適切発言や不祥事がこりしょうもなく多発する(質から量への政治的表現)。また、主語を“量”にするか、“質”にするかで量から質へ、質から量へ相互に言い換えることができる。

2. 否定の否定。

“どういう種類の事物についても、そこから発展が生まれてくるような、それ独特の否定の仕方がある。弁証法における否定とは、たんに、否、ということでも、ある物を存在しない、と言明することでも、その物を勝手な仕方で破壊することでもない”と、あるように、発展的、肯定的な否定の仕方である。“微積分学をその最も重要な部分とする変量の数学は、本質上、数学的諸関係に弁証法を適用したものにはかならない”と、『反デューリング論』(第I編 哲学の「否定の否定」)にある。

W. プラウトは1812年に、全ての元素の原子は唯一の単位、水素からできている、つまり整数から成るといった(プラウトの仮説)。原子説(1802)を提唱したJ. ドルトン(1766～1844)は、いくつかの元素の原子量は半端な数であることを示した(プラウトの仮説の第一の否定)。その後、F. W. アストン(1877～1945)は元素の原子量の精密な測定の結果、いくつかの元素の原子量の半端な数値は、その元素が持ついくつかの同位体=アイソトープ(個々の同位元素の原子量は常にほぼ整数値)との平均値であることを明らかにした。これで、全ての元素の質量は水素の質量の整数倍であり、プラウトの仮説が正しかったことが証明された(否定の否定)。このように、“否定の否定”の結果、より豊かな内容を持った肯定的な原理、原則となる。

37歳にして『恋愛論』を書き上げたスタンダール(1783～1842)は、若い頃(14才)に彼のいうところの偽善のない数学に没頭した。代数学と称する科学の基礎である、負に負を乗じてどうして正になるのかの疑問を誰に聞いてもまともに答えてくれなかった、とその自伝で嘆いている。この自伝が執筆され始めたのは1835年、スタンダール52才の時である。『自然の弁証法』にスタンダールの名はでてこない。「覚書と断片」(以下、「覚書」とする)の“数学”の項(『自然の弁証法』)に、“代数学の負の量は、それが正の量と関係しているかぎりでのみ、正の量との関係でのみ実在的であるにすぎない。”、また、三角法や解析幾何学では負の量は正のものとは逆のある特定の運動量をあらわす、と述べた後で、“……ところが代数学の抽象はこ

れ(負の量)をより大なる量、正の量との関係をはなれたところでも現実の量、自立的な量として取り扱っているのである。”と、前文と矛盾するように記述されていて、解釈するのが難しい。三角法や解析幾何学では、負の量は正と反対の方向を示す量なので、正の量と切り離しがたい。代数学での負の量は、正の量と結びついてはじめて実在できるが(正の量の否定)、負の量を思い浮かべること(抽象)は正の量との関係をはなれてもできる、ということ。

『反デューリング論』の第I編、「哲学」の“弁証法(否定の否定)”の項に、“ある任意の代数学的量、すなわち a をとってみよう。それを否定すれば、 $-a$ (マイナス a)が得られる。 $-a$ に $-a$ を乗じてこの否定を否定すれば、 $+a^2$ 、つまりはじめの正の量が、ただし高次の、すなわち二乗された正の量が得られる。否定された否定は a^2 のうちにまったくしっかりとすすわっていて、 a^2 はどういう場合にも二つの平方根、すなわち a と $-a$ をもっているからである。そして、否定された否定、つまり平方根のうちにふくまれている負の根を厄介ばらいできないということは、二次方程式では、すでにまったく明白な意義をもっている。”と書かれている。

代数学で数字に付く符号は正(プラス)とその真逆を意味する負(マイナス)だけという大前提がある。そこで、 $-a$ は a の反対つまり a を否定した数(量)を表す。否定されたある量($-a$)をさらに否定すると(否定の否定)、マイナスを否定することだから、その反対のプラスに成る。数式で表すと、 $-(-a) = +a$ 、でこれが基本となる。また、 $-a$ を否定するとは、任意のマイナスの数 X で $-a$ を乗ずることで、 X が1のとき $+a$ となる。見かけ上は元の a と同じだが、マイナスと対立するところのプラスを誇示するので(したがって、マイナスをも含意する)、単なる a より内容が豊かといえる。反対に、 $-a$ を肯定するとは、 $+(-a)$ で表され、プラスの任意の数 X で $-a$ を乗ずることで、 $-aX$ となり符号は変わらない(つまり、肯定は、マイナスあるいはプラス a の状態を容認すること)。いずれにしても、乗ずるとは代数学的には否定($-$)または肯定($+$)することといえる。 $(-) \times (-) = +$ も同様に考えることができる。数式では $(-a) \times (-b) = -\{a \times (-b)\} = -\{-ab\} = +ab$ となる。否定された($-ab$)をさらに否定するから $+ab$ となる。 $a \times (-b)$ は $-b$ の肯定で、 $-a \times b$ は b の否定を意味し、いずれも $-ab$ となる。 a^2 には $(+a) \times (+a)$ とともに、 $(-a) \times (-a)$ が含まれるように、 ab には $(+a) \times (+b)$ と $(-a) \times (-b)$ が含まれる。

スタンダーは、“負の量のある男の負債だとすると、1万フランの負債に500フランの負債を乗じて、どのようにしてこの男は500万フランの財産をえるにいたるのだろうか？”と、おどけていつている。(−500)フラン×(−1万)フラン=+500万フランになるが、この場合の+は単純に負債の反対のこの男に入る財産を意味するのではなく、あくまでも、想像可能な負債の現実の量を意味している。

レーニンは、ヘーゲルの『論理学』を研究した『哲学ノート』(第一分冊)の中で、“……弁証法の特徴および本質をなすものは、単なる否定でもなければ、でたらめな否定でもなく、また懐疑的な否定、動揺、疑いでもない、そうではなくて、それは、連関のモメントとしての、発展のモメントとしての否定であり、肯定的なものを保持した否定、すなわちどんな動揺も、どんな折衷主義も持たない否定である。”と、弁証法の否定を特徴づけている。だから、弁証法における否定の否定は、過去の遺物を古くさいといった単純な理由で、乱暴に投げ捨てる(破壊する)ことではなく、保存的、発展的な否定の仕方の意味する。これをヘーゲルはaufheben(高める、保存する、否定する、という意味がある)と表現し、日本語の“止揚する”あるいは“揚棄する”に相当する。ちなみに、止揚するとは、ある古いもの(質)を全て否定するのでなく、その中の優れたものを新しいものの内に積極的に取り入れて保存するという、否定と保存の二面性がある。

「否定の否定」をまとめてみると、“それは、自然、歴史および思考のきわめて一般的な、まさにそれゆえにきわめて広く作用している発展法則である”，と「第I編 哲学」(『反デューリング論』)に述べられている。さらに、人間は弁証法がなんであるかを知るずっと前から、無意識的にこの法則のもとで考えてきたのであり、それをヘーゲルが初めて明確に定式化したにすぎない、と弁証法が特別なものではないといっている。また、“否定の否定”を知ったからといって微積分の問題を解けるわけでも、良質で大量の穀物や野菜を生産できるわけでもない、つまり、弁証法は万能薬ではなく、そうするには微積分や農業といった専門的なことを習得しなければならないと、浅薄な弁証法の理解に警鐘を鳴らしている。

3. 対立物の相互浸透

いろいろな対立した概念(原因と結果、同一性と区別、偶然性と必然性、帰納と演繹、微分と積分、有限と無限など)や現象などを絶対的な対立や区別とはとらず、相対立したものはいずれも一面的な極であり、

それらの極はただ交互作用においてのみ、同一性のうちに区別をつつみこんだ場合にのみ、真理性があるということ。たとえば、原因は結果でもあり、結果は原因ともなり、絶対的に対立する概念ではない。地球的な規模の石炭や石油の消費が原因でCO₂が増え、地球の温暖化が起こる(結果)。また温暖化が原因となり、北極の水が解け、白熊が絶滅の危機にさらされる結果になる。“風が吹けば桶屋が儲かる”式に、原因と結果が相互に関連し、移行しあう。自然や社会は、原因が結果を生み、またその結果が次の原因になるということを繰り返して、進化してきたといえる。

常識は、偶然性と必然性を互いにまったく排除しあう規定として取り扱っているが、この両者は同一であり、偶然的なものは必然的であり、必然的なものはまた同じく偶然的である。たとえば、生物の個々の種(共通する形質を持つという必然性)の内部にある諸個体のかぎりない偶然的な差異が増大すると種としての特徴(粹組み)を破壊するまでに至り、変種あるいは新種が形成されるという必然性に転化する(「覚え書」中の「弁証法」、『自然の弁証法』)。ダーウィンは鋭い観察で種内の形質上の差異(偶然性)に気づき、その偶然性が蓄積して新たな種にとってそれが必然性になるということが繰り返し起こって、種は不変なものではなく絶えず変化するという進化論を提唱した。

これら弁証法の三つの法則自体も絶対的に区別されるものではなく、相互に関連しており移行しあう。いかに科学が発達しても、日常的には万有引力の法則が法則であることに変わりがないように、弁証法も同じでどのように時代が進歩しても(どのような新しい科学上の発見があっても)古くさくなることはありえない。

ヘーゲルは、“感覚や感情でさえもその弁証法を持っている。喜びにあふれる心は涙にそのはけ口を見出し、最も深い悲しみはときに微笑によって示される”といっている。日常的な事柄にも相互に対極に移行し、また統一し合うところの弁証法の生きた事例が無数にある。

ここから本題に入る

エンゲルスは1850年から20年間、マンチェスターで父の経営する綿紡績工場(エルメンとエンゲルス商会)で犬の商売として嫌った商人生活をしながら、夜は郊外の家で過ごすたわら弁証法の試金石である自然科学の成果に絶えず注視した。様々な専門書だけでなく、イギリスの天文学者で、太陽光スペクトル中の黄色のスペクトル線からヘリウムHeを発見したロッ

キヤー J. N. Lockyer が創刊した (1869 年) 総合科学雑誌 Nature にも目を通していた。だから、『自然の弁証法』には数学、化学、物理学、生物学、哲学等々の分野における当時の最新の科学的な知識が網羅されている。青年エンゲルス (図 1) とマルクスは観念論で立っているヘーゲルの弁証法と、唯物論で立っているが頭は観念論のフォイエルバッハの唯物論から、革命的な唯物論的弁証法を築いた。『自然の弁証法』では弁証法を知らない当代一流の科学者が自分の専門分野でどんな誤りを犯すかが明らかにされている。



図1 1845年のエンゲルス Friedrich Engels(1820～1895)、『イギリスにおける労働者階級の状態』を執筆した頃の青年エンゲルス。

一般的な運動とはどういうことか

まずこの小論の冒頭にある“最も一般的な意味での運動，すなわち物質の存在の仕方，物質に内在する属性としてとらえた場合の運動は，たんなる位置変化から思考にいたるまで，この宇宙で起こっているあらゆる変化と過程をそのなかに含んでいる”という壮大な表現に注意を向ける必要がある．『自然の弁証法』の「覚え書」に“物質に適用しうる運動とは変化一般のことである”とある．いいかえると，宇宙での星の誕生や消滅，地上での力学的な物質の移動(運動)，われわれの脳の中で起こっている学習や意思決定過程における物質の変化(化学的変化)までを含む運動を想定している．しかし，生命現象を物理学的＝化学的に基礎づけるという仕事はまだその工程のほとんど出発点

にあるのである、と生命の諸過程を表わしている運動諸形態を解明する試みは力学や、物理学や化学の進歩に比例すると指摘した。事実、現在の生命科学は物理学や化学を基礎にして発展している。分子生物学などという言い方はまさにそのことを端的に表している。

現今，流行とはいえ生命科学的な研究になんでも分子くっつけて呼称するのは何を研究対象にしているのかははっきりしない。“分子病態学”や“分子栄養学”などというのは、分かったようでさっぱり分らない。御上の指導に盲目的に従った結果の、改革と目新しさをてらった中身のない形式主義的な産物の一例といえるのではないか。本来の意味で生命科学も分子、原子あるいは量子のレベルにまで掘り下げられなければ、真の生命現象を解明できないと思われる。実際、69年前、すでにド・ブロイは“生命および物質の神秘的結合は微細な領域において行われることになって、そこに極めて量子的概念をいれなければならなくなる”と予言している(1939年)。エンゲルスも、“われわれはいつかかならず思考を実験によって脳内の分子運動と化学的運動とに「帰着させる」ようになるだろう”(「覚え書」)といっている。現在の脳科学はまったくそのとおりに進んでいる。脳の神経細胞(ニューロン)内とそれらの間における化学物質の探索(それらの合成、消滅、移動などの変化)が記憶や思考のメカニズム解明の糸口になっている。

運動とは位置変化である

運動はすべてなんらかの位置変化であるから、最初に位置変化について記述されている。しかし、この力学的な運動である位置変化という考え方は18世紀から受け継いだもので、諸過程の明晰な把握を困難にしている（「覚え書」）、と述べている。その困難を克服するには、“全自然は諸物体の一つの体系、総体的連関を形作っている。これらの物体が一つの連関のなかにあるということのうちに、それらが相互に作用しあっているという事柄もすでにふくまれていて、諸物体相互のこのような作用こそが運動なのである。”、とあるように、日常的な思考の転換をうながす柔軟性がきわめて重要である。つづいて、複雑な諸物体の間の運動は、二つの物体の相互作用（運動）、つまり牽引と反発という両極的な対立の総和（力ではなく運動の単なる形態）であると明記されている。“運動はすべて牽引と反発との交代変化にある。”このことは何を意味するのであろうか。われわれの日常的な経験による悟性的な判断からはなかなか理解しにくい部分である。

運動が牽引または反発のどちらかに偏ってしまったら、もう運動はなくなる。また牽引と反発とがつりあい、相殺しても運動は消滅する。運動は牽引と反発の無限の相互転化の過程といえる。例えば、宇宙におけるガス、チリの凝集（牽引）とビッグバン（大爆発、反発）で宇宙（銀河）が誕生し、それらは膨張し続け、そこに誕生した恒星は超新星爆発で一生を終え、構成微粒子は星間に飛び散る。それらが再び凝集、爆発を繰り返す無限の運動を想像してみたらどうであろうか（同じ過程を繰り返すかどうかは分からないが、物質が消滅しない限り運動は永遠に続く）。物質は運動と結びついていて、物質があれば運動があり、運動のない物質はない。運動があれば牽引と反発の相互作用がある。だから牽引があれば反発があり、反発があれば牽引があり、これら二極は切り離しがたく結びついて（対をなし統一されている）。したがって、運動に一方だけがということはありえない。統一されていることは相対立する両極をふくみ、相対立するものは統一されている。対立するものは統一の中でしか存在しえない、ということになる。

エンゲルスは分かりやすい例として磁石をあげている。磁石のN極とS極が互いに相殺することはないこと、磁石を半分に分けて、一方をN極のみ、他方をS極のみとすることは無意味なこと（不可能）と言っている。N極とS極が相対立して統一されているものが磁石である。

「牽引」と「反発」とにおける運動の現れについて 一天体の生成とその回転運動

普通、学校の天文学では惑星の描く楕円を中心天体の引力とこの引力方向に垂直に惑星を駆動しつづける接線力（現在では遠心力に相当）との合成された作用から説明されている。エンゲルスはこの接線力という仮定は、宇宙における運動は全て相互に作用しあう二物体の中心間の結合線の方向にしか起こりえないということ（万有引力の法則一筆者）に矛盾し、必然的に運動の創造と消滅とにゆきつくところの、またしたがって創造主を前提せざるをえないところの、運動の一成分を理論のなかに持ちこんでいる、と述べている。ここだけでは判然としないが、「覚書」の「力学と天文学」の項（『自然の弁証法』）を読むと、ニュートン（1643～1727）が惑星運動を力の平行四辺形による接線力で説明しているのを批判している、ということが分かる。この接線力で説明することが必然的な要請となっていて、このことは、現に存在している状態の永遠性を前

提にしている、最初の衝撃なるもの（神）を必要とする、といっている。“現に存在している惑星の状態は永遠でもなければ、運動はもともと合成されたものでもなく、運動はたんなる回転だけだった”のだとして、ニュートンが問題を提起したのではなく、解決したのだと主張しているかぎりではそれは間違っていると述べている。それに対して、運動する物質だけを前提にしているラプラスの宇宙論を、宇宙空間におけるあらゆる天体の回転が必然的だとしている点で擁護している。

惑星の運動をエンゲルスは次のように説明している。全太陽系は一つの回転している希薄なガス塊からその漸次的な収縮によって生成するというカント（ドイツの哲学者）・ラプラス（フランスの数学者）の宇宙生成論から論じている。ガモフは、この仮説（生成論）を薄い星間物質から星が作られたという近代の見解と完全に一致している、としている。ガス球の回転運動が最も盛んな赤道部でガス環がガス塊から分かれ、これらのガス環が球体に収縮して惑星になり、中心天体（太陽）の周りをもとに行っていた回転の方向に回転する。この回転それ自体は個々のガス粒子の回転運動であるとする。このガスの回転運動はさまざまな方向に起こるが、ついにある方向での過剰が生じて（なぜか？一筆者）回転運動を起こさせ、ガス球が収縮するにつれて、回転運動がますます強まる。このような回転運動についてたとえのような仮説をとるにせよ、接線力は排除され、中心方向に生じているある運動形態の特殊な一現象形態（牽引）に解消される、といっている。接線方向の運動の要素はガス球の個々の粒子にもともと存在していた反発の、伝達もしくは転化させられた形態での残余として現れたのだとしている。現在の地球が太陽の周りを回転しているのは太陽と地球の間の重力（牽引）と地球を形作っているガス粒子（素粒子、原子、分子）などの残余の反発力によるということか。しかし、この残余の反発力は現在の地球の姿からはわれわれには想像しがたい。“こうして一太陽系の一代の過程は、反発が熱という形で宇宙空間に放射され、したがってその系からますます失われていくことによって、牽引が徐々にますます優位を占めていくような、牽引と反発との交代変化の過程としてあらわれる”といっている。

ガモフ全集には、ガス魁の回転運動による太陽系の誕生については詳しく描かれているが、惑星の運動（公転と自転）の起源については触れていない。もし太陽の重力（牽引）だけだったら、地球は形を成す途中で太陽の大きな引力によって吸収され、消滅してしまっ

たはずである。それが起こらなかったということは、太陽からの引力(重力)に抗する力(反発力)が地球を形成していくガス球の内部のガスの回転運動により生じていたと考えられる。太陽からの牽引力と地球の反発力がつりあうように地球は太陽を周回するようになった。だから最初から接線力(遠心力)があったのではなく、接線力は太陽の牽引力(重力)と地球の反発力の相互作用で生じたといえる。そして、地球形成時のガスの回転が地球の自転運動として残った、ということではないか。この約1億年にわたる地球進化の過程も科学的にシミュレーションされる日がやってくるのではないかと思われる(既にされているのかもしれない)。地球が赤道付近での時速1656km(マッハ1 = 音速1225km/時、マッハ0.75~1.25で飛行するジェット旅客機より速い)で自転しているのに、その風圧を感じることもしられ落とされることもないのは不思議なことである。太陽の周りを地球が公転しつつ自転しているという関係は、微小な原子の原子核の周りを電子が周回しつつ旋回しているのと似ている。地球にも電子にも磁場が生じる点は共通している。電子の場合は、その運動の軌道を確率でしか表せないこと、運動速度を確定するとその位置が不明になる(その逆も成り立つ)という不確定性原理に従う点が異なる。それでも、巨大な恒星や惑星と微小な素粒子との何らかの関連性を感じ取ることができる。

J. ガモフは、“有名なイギリスの物理学者ケルビン卿(W. トムソン, 1824~1907, 熱力学ということばを初めて使った)とヘルムホルツの二人は、太陽は巨大な気体の球で、自らの重力によってしだいに収縮していると考えた。それでその重力のエネルギーが変化して熱になり、太陽の温度を保っている”と肯定的に紹介している。この考えの中には牽引(重力)はあるが反発はない。これについては後でまた検証したい。

地上の一物体の運動

地表上の純粋に力学的な運動においては、重さすなわち牽引が決定的に優性であるような状態を取り扱っている。そこでは運動の産生は二つの局面、まず重さ(重力)に抗して作用を及ぼすこと、ついで重さが作用するにまかせること、つまり、持ち上げて(反発)落とす(牽引)という二局面を示す。これは牽引と反発的な運動形態の相互作用である。しかし、反発的な運動形態は自然には現れず、人工的につくりださなくては成らない(持ち上げること)。このような自然的な牽引を人工的に克服しなければならないことが、(われわれ

を)重力だけが自然における基本的な運動形態だとみなすように仕向けている(エンゲルス)。だからヘルムホルツは、一個の錘(おもり)を持ち上げて時計を動かすのは重さ(重力)であるとし、能動的な運動伝達(錘を持ち上げること = 反発)がその力の源であることを見逃している(一面的)。ヘルムホルツは牽引の場合のみに力を認めていることに注意。

地上の運動過程の終わりで起こること

持ち上げられた物体が落下して地上に落ちた場合、純粋な力学的な運動は失われる。しかし、運動はなくなってしまうのではなく、その小部分は熱に転化される。すなわち、その熱は、一部は抵抗する空気、一部は落下する物体自体に、一部は最後に衝突した地面に伝えられる。しかしながら、よくそういわれるように落下運動が、つまり牽引が熱に、従って反発の一形態に移行したのではない。落下によって力学的には消滅し、熱として再び生成するのは、持ち上げることによって(物体はポテンシャルエネルギーを得る)物体に伝えられた反発なのである。前述したように、この点がケルビン、ヘルムホルツとエンゲルスの違いで、前二者は落下すること(牽引=重力)自体の中にエネルギーがあると考えている。それに対して、エンゲルスは持ち上げること(反発=能動的)によって物体にエネルギーが付与されると考えている。だから、“巨視的物体の規模での反発(持ち上げ)は分子の規模での反発(=衝突による熱)に変えられた”のだと述べている。このように見かけ上は物体の運動はなくなったが、目に見えない形での運動(熱)をとらえているところがエンゲルスの慧眼といえる。自然状態では物体を持ち上げるといふ人工的な行為がなければ運動は起こらないわけで、ただ単に物がそこにあるだけでは何事も生じない(自然災害で岩石が落下するような場合は別として。しかし、この場合も落下する高さの位置エネルギーはすでに岩石に付与されていると考えなくてはならない)。

エネルギーは反発と同一

物体が落下して地上に達した時に微視的分子の反発の結果として熱を生じるから、熱は反発の一形態ととらえられる。さらに、固体(たとえば氷)に熱を加えたら、水分子どうしの反発の結果、水分子の間に距離ができて液体(水)になる。さらに熱を加えると、いっそう水分子はバラバラになり気体(水蒸気)になる。このことから、エネルギー(熱はその一形態)は反発と同一

のものと結論される。外から熱を加えると、個々の水分子はエネルギー(熱)を取り入れ反発し、また水分子がくっつく時(牽引)にエネルギーを放出する。別な言い方をすれば、エネルギー(熱)が反発を促し、反発はそのエネルギーを別な運動形態(水分子の運動エネルギー)に変えるということ。反発はエネルギーの源であり、エネルギーを付与する。つまり、エネルギーは反発と同一ということになる。

原子核の周りに存在する外殻(外側の軌道)の電子が内殻(原子核に近い軌道)に移る(牽引)ときに、エネルギーが放出される。逆に、内殻の電子(基底状態=ポテンシャルエネルギーの低い安定した状態)に外からエネルギーを与えると、電子はそのエネルギーを得てポテンシャルエネルギーの高い、不安定な励起状態になる(電子の内殻または外殻への遷移を量子跳躍 quantum jump という)。ここでもやはり、牽引はエネルギーを放出する受動的な過程、反発はエネルギーを得る能動的な過程といえる。光(電磁波)が金属板に当たると、エネルギーをもった光(量)子(質量のないエネルギーの塊)1個に対して、1個の電子がそのエネルギーを得て外にたたき出され、光子は電子に完全に吸収されてしまう(光電効果)。この場合も、電子に衝突する光子は牽引され、電子はその結果、反発されると考えると、牽引はエネルギーを放出する過程、反発は運動エネルギーを得る能動的な過程といえる。

静電気と磁気における牽引と反発の相互作用

“牽引と反発とが静電気または磁気によって呼び起こされ、妨げられることなく自己の減少を繰り返しているかぎりでは、両者が互いに完全に補償しあっているということは、諸事を前にしてだれ一人として疑っていない。”(エンゲルス)とある。静電気と磁気における牽引と反発は理解できるのだが、それらが完全に補償しあっている(対極の統一)ことが具体的に説明されていないので理解しにくい。

静電気と磁気について教科書的な説明をすると、物体が電気を帯びることを帯電といい、この現象を静電気という。ガラス棒を布でこするとプラス(正)に帯電する(摩擦エネルギーを得たガラス棒の電子が布に移動する)。こうした2本のガラス棒を近づけると反発しあい、マイナス(負)に帯電したゴム棒やビニルパイプを近づけると互いに引き合う。静電気現象は摩擦などによって電子の移動が起こり、一方が電子を得て負に、他方が電子を失い正に帯電するために起こる。

物質を構成する原子は中心に原子核(正)と、その周

りをまわる電子(負)からなっている。電子がもつ電気量(負の総和)と原子核がもつ正の電気量は同じである(釣り合っている)。そのため、原子は全体としては電気を帯びていない(中性)。だが、原子は電子を放したり、取り込んだりする。そうすると、原子は電気を帯びる、これをイオンという。電子を放出して正の電気を帯びた原子を陽イオン、逆に電子を取り込んで負の電気を帯びた原子を陰イオンという。つまり、電子の反発(摩擦エネルギーを得る、能動的な過程)が原子を正に帯電させ、電子の牽引(摩擦エネルギーを放出、受動的な過程)が原子を負に帯電させる。電子の牽引と反発の相互転化が静電気の原因である、といえる。

エンゲルスの生存中はまだ電子の存在は発見されていなかったもので、エンゲルスは電子のレベルで静電気を説明しているのではない(J. J. トムソンが1897年に陰極線が負に荷電した粒子=電子の流れであることを発見した)。二つの電荷を帯びた物体の引力(プラスとマイナスの間)と斥力(プラスとプラスまたはマイナスとマイナスの間)のことを問題にしている。電荷のプラスとマイナスは対極的だが、ではどのような状態がそれらの統一といえるのか。次の電磁振動現象(図2)を想定してみたらどうであろうか。二つの球形の導体の表面に反対の電荷を与え、導体間を針金でつなぐと、二つの球の反対の電荷は一方から他方へ流れる電流(習慣上、電気は正極から負極に流れると決めているが、実際は負極から正極に電子が移動する=反発。そのため正極に電子がたまる)によって中和され始め、両球の間の電場は弱くなる(電位差が減少する)。電場に蓄えられていたエネルギーは、電場が弱くなるにつれて針金の中の電流によって引き起こされた磁場(電子の運動によって生じる)に蓄えられる。電荷が完全に中和されると(両球の全プラスと全マイナスの電荷が牽引し合って、対極が統一する、補償と考えられる。電荷はゼロ)、電場は消失し(電子は移動しなくなる)、そのエネルギーの全部は磁場に存在することになる(電場から磁場への転化)。そうすると、磁場がそこに蓄えられているエネルギーを針金に渡して電流の流れ(磁場から電場への転化。エネルギーを得た電子の移動)を再開させる。その結果、二つの球に最初とは逆の電荷が蓄積し始める(電荷の統一がまた対極に分極する)。同電荷の反発が異電荷に牽引されて、電荷の統一(補償)が起こり、それがまた分極に至る。こうして、統一の中に対極が含まれ、対極の中に統一があり、相互に切り離しがたく結びついている。

磁気の牽引と反発ということはどうであろうか。こ

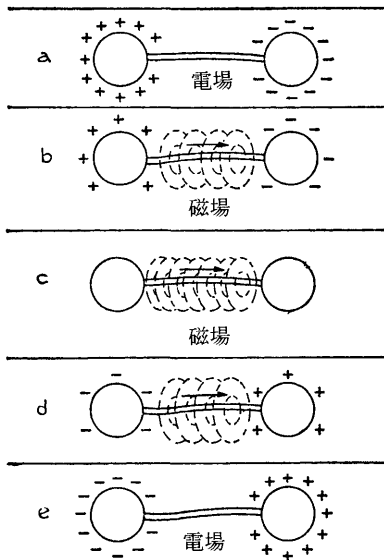


図2. 二つの帯電導体間の電磁振動を示す図(ガモフ全集別巻,『現代物理学の世界』より引用). 電場と磁場の文字は筆者が加えた. Cは電荷が完全に中和されて電場が消失し, 電場のエネルギーの全部が磁場に変わったことを示す. この電磁振動現象では電場が磁場を誘導し, 磁場が電場を誘導するという弁証法的な運動の相互転化の過程がみられる.

の場合も磁極(N極またはS極)の同極どうしは反発しあい, 異極どうしは互いに引き合うということをいっている. 同極どうしには斥力(反発力)が, 異極どうしには引力(牽引)が働いている. この場合, 一本の磁石の中に相反するN極とS極とが分極しつつ統一されていることが弁証法の一例と理解される.

静電気と磁石の場合, 相反する極あるいは電荷が引き寄せられ(牽引), 同極あるいは同電荷が反発するのは分かるのだが, では牽引が反発に, 反発が牽引に転化するだろうかという点がどうもスッキリと説明されていない. エボナイト棒を毛皮でこすって負に帯電させ, 箔検電器(ライデン瓶)に近づけると表面に正の電気が集まる(静電誘導). これは負電荷による正電荷の牽引と考えることができる. その結果, 検電器の中の両方の箔にはエボナイト棒と同じ負の電気が残り(集まり), 反発しあって開くことになる. この時, ガラス棒と絹布をこすって正に帯電したガラス棒を箔検電器に近づけると, 表面の正電荷は反発して箔に移動し(牽引), 箔は電氣的に中和され閉じるはずである. このように静電誘導の場合, 牽引が反発に, 反発が牽引に転化するという. 誘電分極の場合, 陽電荷と負電

荷が相対する金属板に貯まるコンデンサー(蓄電器)の中の電荷は, 同電荷に反発されると同時に異電荷に牽引される(?)ので反発が牽引に転化する, といえるだろうか. いずれにしろ, 同じ電荷どうしがしりぞけあうとき(反発), あるいはお互いに引きあっている異電荷どうしを引き離すときには, 小さな物体を持ち上げる(反発)ときのように一定量の力学的な仕事をさせることができる. だから, この場合も反発が静電的ポテンシャルエネルギーを与える能動的な過程といえる. 同様に, 異電荷がひきあう(牽引)のは, 反発によって得たエネルギーを消費する 受動的な過程ということができる.

電荷どうしの牽引と反発の力(クーロン力)は, 万有引力の法則(二物体の距離に反比例し, 二物体の質量の積に比例)と同じく二つの電荷の距離の二乗に反比例し, 電荷の積に比例する(クーロンの法則). つまり, 二つの電荷の間には, 万有引力でなくクーロン力が作用する. その違いはクーロンの法則の場合は, 質量ではなく電荷であることと, 引き離す力(反発力)と引き合う力(引力)の両方があるということ. クーロンC. A. Coulomb(1736~1806)はフランスの物理学者で, 3×10^9 静電単位 = 1 クーロンにその名が残っている.

磁石の場合は, 同極どうしを近づけると反発する結果, 一方の極が180度回転して異極どうしが牽引しあうことになり, 反発が牽引の原因となる. しかし牽引は, 自然のままでは反発の原因とならない. つまり反発のエネルギーは牽引のエネルギーとなるが, 牽引を反発に変えるには外からエネルギーを与えて, 引き離さなくてはならない.

化学的な過程における牽引と反発

ここでは水素と酸素が結合して水(水蒸気)ができる場合と, 水が水素と酸素に分解する場合をとりあげられている. 2分子の水素と1分子の酸素が化合(牽引)する場合は68.924カロリーが発生し, 逆に水が水素と酸素に分解(反発)する場合は同カロリーのエネルギーが供給(束縛)されねばならないといっている. この場合も牽引ではエネルギーが放出(牽引は運動エネルギーを余計なものとして放出)され, 反発ではエネルギーが捕捉され(運動の供給をぜひとも求めているところの), 蓄えられるので, 能動的な側面(よりいっそう運動に富んでいる)であるとしている. だから, ここでもエネルギーは, 反発すなわち持ち上げられた物体が重力のエネルギーを持つと同じように反発を代表しているといっている. 物体を持ち上げ(反発)て, 落

下させる（牽引）という先の説明と同じである。水分子が熱せられて水素と酸素に分解（反発）するとき、水素と酸素は熱エネルギーを運動エネルギーとして獲得する。それらが化合して水になるとときにはそれぞれの運動エネルギーは再び熱エネルギーとして放出されることになる（運動形態＝エネルギーの相互転化）。このことをヘルムホルツはどのように説明しているか。エンゲルスは次のように述べている。炭素と酸素が化合（牽引）する力を一種の引力と考えている（ヘルムホルツは化学的親和力という）。この親和力が、持ち上げられた錘が持つ重力と同じように仕事をすると考える。CとO₂を結びつけている親和力が力だということ。それに対してエンゲルスは、“ヘルムホルツは化学においても物理学におけると同じように力に牽引にのみ存在していると、固執して考えている”，と指摘している。他の物理学者たちのあいだでエネルギーとよばれている反発とは正反対の立場にいと。牽引と反発のどちらかが欠けていても運動は生じないのに、つまり、相反することが統一されていなくてはならないのに、ヘルムホルツは運動の一側面しか見ていないということになる。

エンゲルスは、起電液中での酸とアルカリの化合による塩の形成（牽引）の際にエネルギーが放出され、この化学的エネルギーが閉回路で電気エネルギーに変換する、と“電気”の章で繰り返し明らかにしている。また、電気エネルギーが化学的エネルギーに再び変換して、電気分解が起こると説いている。

核分裂と核融合で生じるエネルギーはどう説明されるべきか。

核エネルギーは弁証法的にどのように説明されるだろうか。既述したように、エンゲルスの生存中はまだ原子を構成する原子核（陽子＋中性子）、電子などの素粒子の存在は知られていず、ましてや原子核の崩壊は知られていなかった。1897年にA. ベクレルが幸運にも偶然、ウランから出る強いエネルギーを持つ放射線を発見。1年後、キュリー夫妻（マリー：1867～1934、とピエール・キュリー：1859～1906）はウランを抽出した残りカスからウランの400倍の放射能をもったポロニウムと、1000倍の放射能をもったラジウムを発見。結局、1902年に純粋なラジウムはウランの100万倍も強力な放射能をもつことが分かった。キュリー夫妻はベクレルとともに1903年にノーベル物理学賞（ピエールはノーベル賞受賞後3年目に馬車にひかれて不慮の死を遂げる。キュリー夫人は、ラジウムは広く世

のためと願い、その製造法の特許を取らなかった。ちょっとしたことですぐに特許を取りたがる現代人と比べると、なんとという大きさ）。夫妻の放射性ラジウムの発見に至るまでの想像を絶する努力を映画『キュリー夫人』（マーヴィン・ルロイ監督、1943年公開）で垣間見ることができる。

原子構造の解明は、原子に高速の α 粒子（ヘリウムの原子核：2個の陽子と2個の中性子から成る）を衝突させるというラザフォードの1911年の実験から始まった。ウラン235に中性子を照射すると二つまたは三つに核分裂し、その時に莫大なエネルギーを発生する（核爆発）。原子核には陽子と中性子をひとまとまりにしておく引力（核力）と、陽子間の電氣的な反発力がある。ウラン（広島に投下された原爆リトル・ボーイの素材）やプルトニウム（長崎に投下された原爆ファット・マンの素材）などの重い元素では、反発力が優位で核は壊れやすい（不安定）。

ウランの原子核に中性子をぶつけると、中性子は原子核に800万電子ボルト（8 MeV）[1電子ボルト（1 eV）は電子が真空中で、1ボルトの電位差で加速された時に獲得するエネルギー。1 eVはおおよそ可視光の光子1個によって運ばれるエネルギーに相当。電位差が100万ボルトなら、100万電子ボルト＝1 MeV（温度にすると1億度！）]のエネルギーを与える。しかし、一個のウランの原子核が分裂する時に、2億電子ボルト（200 MeV）のエネルギーが放出される。なぜ、核分裂の過程で一個の中性子のエネルギーの25倍ものエネルギーが生じるのか？ もともと、大量のエネルギーを持つ自由な陽子と中性子といった核子が原子核をつくる際（融合＝牽引と考えることができる）に多量のエネルギーが放出されたはずである。この開放される“結合するときのエネルギー”は質量欠損（後述）で生じる。

原子核内の核子を互いに引き裂くには（反発と考えられる）、化学的な過程の分解のときにエネルギーを加えなければならないように、融合するとき以上のエネルギーを外から与える必要がある。ウランのような重い原子の原子核は不安定なので、比較的少ないエネルギーを与えることで中くらいの重さの二つの原子核に分裂する（反発）。この分裂して二つの安定な原子核をつくる時に核子の再配列（牽引）が起こり、同時に質量欠損が生じてエネルギーが解放されるのではないのか。よりミクロなレベルで、二つの粒子（パイ中間子や陽子などの強い相互作用をする素粒子を構成するクォークなど）が衝突する瞬間（牽引）に生じる多く

の過程において、100億～4000億電子ボルトというエネルギーが広範囲に渡って観測される(チェルノゴロフ)，ということも牽引が基本的にエネルギー放出の過程であることを示している。この二つの粒子が衝突すると、数十個の新しい粒子が発生し(反発)，これらの粒子にエネルギーが付与される。そう考えると、ウランの核分裂の場合も化学反応の場合と同じように、基本的に牽引(核子が原子核をつくる過程)がエネルギーを放出し、反発(核分裂の過程)がエネルギーを与える能動的な過程ととらえることができる。

重い原子の自然放射性崩壊の場合(β 崩壊を例にとると)は、外からエネルギーが与えられないのに原子核内の一個の中性子が陽子と電子 e^- に変換する。陽子は原子核の内部にとどまるので原子核の陽電荷は一つ増え、したがって原子番号が一つだけ増す。電子(β 粒子)は原子核から出るとき(反発)にエネルギーをもらう。重い原子の原子核は陽子間の斥力により不安定なので、その構成核子が自発的に接近(牽引)すると核子の再配列で、より安定化する。同時に核子が持っているエネルギーが開放される。そのときには必ず新しい粒子が多重発生(反発)して、それらの粒子にエネルギーが付与されると想像することができる。このように、いろいろな半減期をもつ原子の自然放射性崩壊の場合は核子の牽引は見ることができないから、牽引によって生じるエネルギーがあたかも核分裂の結果のように見える。しかし、実際は化学的過程と同じように物質を構成する最小単位であるミクロの世界でも牽引がエネルギーを放出する過程で、反発がエネルギーを得る能動的な過程と考えることができる。自然な放射性崩壊の場合、半減期の長い原子核内でのミクロな物質粒子の牽引と反発は非常にゆるやかに起こることになる。

β 崩壊するときの β 粒子のエネルギーは幅広い分布をしていて、ゼロから数百万電子ボルトの値を示す。この不可解を説明するのに、W. パウリ(ドイツ)は β 粒子と一緒に、検出できないある不思議な粒子がエネルギーのつり合いをとっていると考えた。E. フェルミ(イタリア)は、1934年にこの不思議な粒子(ニュートリノ)と β 粒子が同時に放出するという β 崩壊の理論を発表した。この場合も、それらの粒子が結合(牽引)するときに、エネルギーが放出され、反発するときにエネルギーを与えられる能動的な過程といえる。

旧ソ連の女性物理学者チェルノゴロアは、“原子核のエネルギー密度は非常に大きい。そのエネルギーは、核子間の結合エネルギーとおおのの核子の運動

エネルギーの和である。…原子核の結合エネルギーは、ときには、数千万から数億電子ボルトにまで達する”と、言っている(参考10)。この中の結合エネルギーは何を意味するのであろうか。一般的に、核分裂によって開放される莫大なエネルギーの源はこの結合エネルギーにあると考えられている。原子核内の核子を引き離す(反発)には、結合エネルギー以上のエネルギーを外から与えてやらなくてはならない(化学的な分解の過程に相当)。別の箇所では、“自由であった中性子と陽子が、原子核の大きさ程度の場所ではたらく強い引力(牽引—筆者)の支配下に身をゆだねると、自分のもっているエネルギーの一部を放出することになる。”とある。したがって、“高密度の安定な原子核の発生はウランの原子核の分裂反応のエネルギーより何十倍も大きいエネルギーの発生をとまなうはずである”(チェルノゴロフ)と、いうことになる。このように、“結合エネルギー”という意味は、核子が牽引して結合する時に発生する(放出される)エネルギー、ととらえた方が自然ではなかろうか。

核分裂とは反対に二つの原子核が融合することでエネルギーを放出する核融合反応がある。水素の同位体である二個のデューテリウム(重水素)の核が融合し、一個のヘリウムができる過程で多量のエネルギーが出る。核融合の場合は、融合=牽引でエネルギーを放出するというふうに、すんなりと化学的な過程と同じように考えることができる。

上記の核分裂と核融合反応で放出されるエネルギーについては、次のように説明される。アインシュタインの特殊相対性理論(1905年)から導かれた公式、 $E=mc^2$ は、速度の変化から起こる質量(m)の変化は運動エネルギー(E)を光速(c)の二乗で割ったものに等しいことを表す。これは、ある状況のもとで、エネルギーと質量が相互に変換されうることの意味する。たとえば、質量の損失(質量欠損)がある過程で起こる場合にはエネルギーの獲得があり、あるいは電子を加速するときにはそれにエネルギーを与えていることになる。その際、そのエネルギーの一部は運動エネルギーの増加分になるが、一部はその質量に変換される。このようにアインシュタインは物質とエネルギーの相互転化を数学的に表現したといえる。

チェルノゴロフは、“物質と運動のあいだにあって、以前は科学者にとって克服できないと思われた深淵(=物質と運動の形而上学的で絶対的な対立)は、アインシュタインによって永久的に埋めつくされた。その深淵の存在は唯物弁証法の創始者たちによって一度

も承認されなかったものである”（参考10, P37）と、記している。この唐突な文章は一見すると、唯物弁証法の創始者たちが言ったことを否定しているようにとれるが、そうではなく彼らは物質と運動の間に深淵などはないと考えていた。つまり、量から質（＝物質から運動）へ、また質から量（運動から物質）への転化を承認していたということで、物質と運動との間の相互転化は弁証法的な自然観にとって何ら驚くことではない。エンゲルスが10年長く生きていたら、アインシュタインの理論を知ることができ、自然の弁証法の好例として快哉を叫んだであろう。

重水素は一個の自由中性子（原子量1.008985）と一個の自由陽子（原子量1.008145）が融合したもので、その重さ（質量）を計算すると2.017130である。しかし、重水素を質量分析器で計測した実際の重さは2.014740で、計算値よりも0.00239原子質量単位だけ少ない。融合して（牽引）重水素になった際に、一部の質量が失われたためである。一原子質量単位は9億3100万電子ボルト（931MeV）だから、失われた質量のエネルギーは222万電子ボルト（2.22MeV）となる。従って、一個の中性子と一個の陽子が融合すると、2.22MeVのエネルギーを持つ（ガンマ線）が放出される（“質量のエネルギー転換”）。逆に、重水素の原子核に2.22MeV以上のエネルギーのガンマ線をぶつけると、重水素の原子核を一個の中性子と陽子にわけることができる（＝反発，“エネルギーの質量転換”で、陽子と中性子はエネルギーを獲得する）。

二つの重水素の核融合の場合、2個の重水素の核（質量は、 $2 \times 2.0141 = 4.0282$ ）が融合（牽引）して1個のヘリウム原子核（質量は4.0026）に変化した時の質量差（ $0.0256 =$ 損失）が、放出されるエネルギーとなる（約23.8336 MeV）。このときに放出されるエネルギーの平和的利用は人類的な課題であるといえるだろう。現在、莫大な太陽のエネルギーはこうした熱核反応によって説明されている。この核反応によって重力に抵抗する外向き（反発）の圧力を与えるエネルギーが生み出される。

ウラン235の原子核に一個の中性子が衝突してウラン236を経てバリウム145とクリプトン88の二つに核分裂すると、3個の中性子が出る $[U^{235}(92+143) + 1 \text{ 中性子} \rightarrow U^{236}(92+144) \rightarrow Ba^{145}(56+89) + Kr^{88}(36+52) + 3 \text{ 中性子} + \text{エネルギー}]$ 。アルファベットの右肩数字は原子量、（ ）内の左の数字は陽子数、右の数字は中性子数を示す。左側の質量の合計は236.133、右側の質量の合計は235.918で、その質量差0.215原子質量単位は、

およそ200MeV \approx 2億電子ボルト（従来の爆発物で生じるエネルギーはわずか数電子ボルト）が放出される。この時、ウラン235が分裂して、中性子と陽子の合計が元と同数の安定なバリウムとクリプトンの原子核に再配列したのである。この核子の再配列（融合＝牽引）の過程で、質量欠損をとまってエネルギーが放出されたと考えることができる。それでも、ウラン235に潜在するエネルギーのわずか数パーセントが放出されるに過ぎないという。

原始の星では高温なため陽子、電子、陽子と電子がくっついた中性子などの素粒子（さらに、ミュー中間子やパイ中間子、ニュートリノなどが一般的に知られている。この素粒子の原始混合物をガモフはアイレムと呼んだ）がむきだしのままで存在し、大きなエネルギーを有する自由な中性子が陽子と融合（牽引）して原子核の原型がつくられた。そのときに、核子のエネルギーは放出されるとともに、余分なエネルギーは、“エネルギーの質量変換”というかたちで原子核内に、いわゆる“結合エネルギー”というかたちで蓄積された。こうした反応がくりかえし起こって、莫大なエネルギーを含むウランなどの重い放射性元素ができたのであろう。巨大な星の中心部での核融合の燃料が燃え尽きると、重力による内向きの圧力（牽引）が優勢になり、重力崩壊（超新星爆発）が起こり、星は一生を終える。その際、爆発のエネルギー（反発）の99%が大量に放出するニュートリノに与えられる（参考15）。したがって、この場合も反発はエネルギーを付与する能動的な過程といえる。

このように、化学的な過程と同じように原子のレベルでも、エンゲルスの説くように、基本的に牽引はエネルギーの放出過程（受動的）で反発はエネルギーを獲得する（能動的）過程といえる。“エネルギーと質量の相互転化”は、その際のエネルギーの量を具体的に示す。運動の基本形態である牽引と反発の相互作用は物質の最小単位でも成立し、その際、牽引はエネルギーを放出する受動的な過程、反発がエネルギーを与える能動的な過程だと考えられる。そのこととアインシュタインの特殊相対性理論は矛盾しないし、むしろそれらを統一的に説明することができる。

話はそれるが、朝永振一郎博士の著書に『スピンはめぐる』がある。この本は名著として名高いが、どうも講義録をまとめたもののようで複雑な方程式がたくさん出てきて、この分野の素人には歯が立たない。その中で、1937～39年に氏が、不確定性原理で著名なW. ハイゼンベルクや、原子の電子配置における有名

な規則を見出したF. フントがいたドイツのライプツヒ大学に留学した時のことを語っている。“ユカワが核力に関する考えを論文の形で発表したのは1935年、しばらくの間それは人々の注目を引かなかった”と言っている。日本から寄贈された雑誌，“Proceedings of the Physico-Mathematical Society”は届いてもすぐに書庫にかたづけられて、誰にも読まれなかったという。ところが、ユカワのノーベル賞の対象になった中間子論に関する論文がその雑誌に載った頃から、それは堂々と物理学教室の図書室に並べられ、ユカワ達の載っているページは読む人の手ずれで黄色っぽくなっていたと、回想している。湯川博士の“中間子が電子の100倍程度の質量を持てば、その交換力の強さは核子間を行き来する頻度に比例するという「核力の中間子論」”の論文三篇は当該雑誌の1935, 37, 38年に掲載された。

レーザーを使ってタンパク質をイオン化して、その高分子の質量測定を可能にした業績で2002年にノーベル化学賞に輝いた田中耕一氏の受賞対象論文は三つで、そのうちの一つは1987年の日中合同シンポジウムでの英語発表である。この発表がドイツの研究者の目にとまり、彼らが、島津製作所の一研究員で博士でもなかった田中氏の研究を世界に紹介するかたちになった。このように、一遍の論文でも数では表すことのできない科学史的な価値を持つ場合がある。

いろいろな形の運動

次いで、牽引と反発は運動の基本形態なのだが、この両者の対立の中で起こっている一連の、多様な現象形態を“運動”という表現で総括しているのだと、言っている。だからこの総括的な運動という表現には、条件しだいで一つの形態から他の形態に移行するところの、実は同じ一つの運動の諸形態が含まれている(エンゲルス)。具体的には、力学的な運動は熱、電気、磁気に移行する。これは摩擦熱や水力発電を思い出してみれば理解できる。また熱と電気は化学的分解に移行する。これは電気分解を想像すれば納得がいく。化学的結合の結果放出されたエネルギーはふたたび熱と電気を生じさせるもとになる。また電気を媒介に磁気をつくりだす(電流による磁気の誘導、また磁気を媒介に電流が作られている：電磁誘導)。最後に、熱と電気はまたもや力学的な運動を産生する(蒸気機関など)。水力発電では、水の力学的なエネルギーが電磁誘導によって電気エネルギーに変換される。このように、エネルギーには力学的エネルギー、熱エネルギー、

電気エネルギー、磁気エネルギー、化学エネルギー、光エネルギー、核エネルギーなどさまざまなエネルギーがあり、相互に転化することを現代のわれわれは知っている。

たとえば、蛍は体内の発光物質の化学エネルギーを光エネルギーに変えて発光する(熱はでないので冷光)。蛍の光は、体内にある発光物質ルシフェリンの酸化をルシフェラーゼという酵素が触媒する化学反応(化学発光)である。ルシフェリンはルシフェラーゼで酸化され、エネルギーの高い励起状態(原子の外殻に電子が移ること。ルシフェリンの酸化がすすむとなぜ励起状態が高くなるのか今の筆者には説明できない)のオキシルルシフェリンになる。オキシルルシフェリンの原子がエネルギー状態の低い、安定な基底状態にもどるとき(内殻に電子が移ること)に余分なエネルギーが光として出る。ルシフェラーゼの触媒作用でルシフェリン構成原子の電子が外殻に遷移(反発)して高い位置エネルギーを得る。さらに電子が内殻に戻る時(牽引)に光のエネルギーを放出する、と考えることができる。

このように、今ではあたりまえのように、“いろいろな形のエネルギーは互に移り変わることができる”(参考12)と高校の教科書でも説明されている。“熱は物質ではなく運動のひとつの形である。発生する熱は、電池中で起こる化学作用によって解放されるエネルギーに等しい”と、これはエンゲルスではなくジュールのいったことである。エンゲルスは化学反応によって解放されるエネルギーが電池における電気之源であることを、『自然の弁証法』の「電気」の章で詳しく論じている。この章では、ちょうど「運動の諸形態」におけるヘルムホルツの役割をヴィーデマンが演じている。彼の『ガルヴァーニ電気と電磁気学』(1874年)が批判の対象になっている。従来の金属の接触説や正と負の二つの物質で電流を説明する誤りが指摘されている。“ガルヴァーニ電池の「起電力」とは電気という形態(運動)にかたちを変えられた化学的エネルギーにほかならない”(エンゲルス)と言っている。こうして、熱、電気、磁気、化学反応、力学的運動等は原子、分子、電子などの運動の諸形態の一つであると理解されなくてはならない。もちろん光もこうした運動の一形態である。

光の実体は光(量)子(フォトン)と呼ばれる。紫外線を金属に当てると、金属の表面から電子が放出される(光電効果)ことから、アインシュタインは光の粒子性を重要視して、 $E=h\nu$ という公式を導いた。最初、プ

ランクによって提示された $h\nu$ は整数倍のエネルギーを持つ個体中の原子にだけ適用された(量子仮説)。それをアインシュタインは光の放射にまで拡大解釈した。E はエネルギーの塊である光子のエネルギー、 h はプランクの定数 (7×10^{-27} エルグ・秒, cgs 単位)、 ν は光の振動数(周波数)を表す。これから、振動数(波動の性質を示し、光が電磁波の一種であることを示す)が大きくなると、従って波長に反比例して光子の輻射エネルギーが増し、飛び出す電子のエネルギーも大になる。つまり、振動数が高い(波長の短い)紫外線が電子をたたき出すことができる。こうして、光のエネルギーが電子の運動エネルギーに変換される。逆に、電子のエネルギーが光(電磁波)のエネルギーにも変換される(γ 線の放出、蛍の発光現象など)。光電効果は、アメリカの物理学者 A. コンプトンが高エネルギーをもつ X 線の量子をいろいろな角度で電子に衝突させて、そのときの X 線の跳ね返り角度とエネルギーの消失度合いから、再確認された(コンプトン効果)。また、輻射エネルギーの量子仮説が検証された。

赤色光の光子のエネルギーは小さく、紫色光の光子のエネルギーは大きい(質から量への変化)。従って、いくら暗く見えてもその個々の光子のエネルギーが大きければ(紫外線)、日焼けしやすく、逆にいくら明るくても(エネルギーが小さい光子の多い赤外線など)日焼けしにくいことになる。電子レンジは電子の運動(振動)によって発生する電磁波の一種であるマイクロ波(波長: 数ミリ〜数10センチ)のエネルギーが食品中の水分子を共振させることで、摩擦熱が発生し、その変換した熱エネルギーが食品を過熱する。このように、電子の振動の速度の違いによって、いろんな波長を有する電磁波が発生する。それらは一様に光と同じ速さで伝播する。電磁波は、最終的に音声、画像などに変換されることでラジオ、テレビ、レーダー、携帯電話などさまざまな機器に利用されている。

極めて神秘的といわれるプランクの定数(量子定数)について、ド・ブロイは「物質及び副射線の要素的な性質を説明するためには、波の像と同時に粒子の像を用いなければならず、この二つの像を数学的に定義するための量は、プランク定数が常にあらわれるような関係によって互いに結び付けられている」と述べている(参考8)。つまり、プランク定数が波と粒子の境を表す、と解釈できる。そこで、ド・ブロイは h を「不確定性の限界を印す境界標」ともいつている。エンゲルスは定数を、たいていの場合運動の量的変化が当該物質に質的变化を呼びおこすところの結節点、と

定義している。それに従うと、 h の場合、粒子(光子または電子)の粒子性(量)から波動性(質)への結節点を示すということになる。エンゲルスによるおそらく最初の定数の弁証法的な定義は、まさに正鵠を得ているといえる。ド・ブロイは物質と副射線について、「個別性(粒子性と波動性)は緩和されて交互作用の神秘的過程に融けこんでいる」と表現している。粒子性と波動性を絶対的な対立としてとらえていない、という点で弁証法的である。このことは、誰にとっても物質とその運動をありのままに記述すると、結果として弁証法的にならざるをえないことを示している。

エンゲルスはエーテル理論をどのようにとらえていたか

上述の「電気」の章でエンゲルスは、エーテル理論について触れている。エンゲルスのおそらく数少ない間違いの一つとしてとりあげてみたい。「電気とはエーテル微粒子のある運動であり、そしてこのような運動には物質分子が関係しているのだという仮定である」と、エーテル微粒子とある物質分子の相互作用が電気だといっている。さらに、「電気とは全空間に、またしたがってあらゆる物質に浸透しているある弾性物質のなんらかの運動であり、……」とファラデーの考えを解釈した。エーテル理論の基本的な見解として、「電気をあらゆる可秤量的な物質に浸透している光エーテルの微粒子が物質分子に反作用しつつおこなうある運動だと考えることにある」(エンゲルス)と、エーテル理論を肯定している。ファラデーは、「空虚な空間」とふつう呼ばれているものは、実は「世界エーテル」という奇妙な物質で満たされていて、この物質のおかげであらゆる電気的および磁気的な相互作用がおこなわれる、と想像した。その弟子のマクスウェルは、電磁氣的相互作用はある弾性質内の応力とひずみを表す方程式であることを証明したとされている。

ところが、アインシュタイン(1875〜1955)は、電磁場物質は全空間に広がっているのではなく、電気力および磁気力が存在するある場所にのみ存在し、真の空虚な空間には存在しない、とエーテル理論を否定して電場自体を物質的実在性に帰した。これに関してガモフは、アインシュタインは電磁場のある偏在的な媒質のひずみと考えるかわりに、それらに一定の物理的実在性を付与した、といっている。さらに、アインシュタインの光学と電磁気現象における革新性は、電磁的エネルギーに対しても他のどんな形のエネルギーに対しても一定の質量を考慮した点にあることを指摘している。

実際、 γ 線は放射性物質によって出される短波長の電磁波だが、それはいくつかの粒子に転換されることができる。この場合の粒子とは、負の電子、正の電子(反電子)=陽電子 e^+ (ポジトロン)などを指す。イギリスの物理学者ディラック(図3)が、1930年に“空虚な空間に物理的に観測できない負の質量をもつ電子がつかまっていて、この電子の一個がなくなると、空孔ができ、これが陽電子として観測される”と、陽電子の存在を予言した。ディラックの空孔論は(図3)、彼がなぜ陽電子の存在を予言するに至ったかの経緯を知らないで理解できないような気がする。ガモフは例のトムキンス氏、典型的なホモ・サビエンスのディラック、人間より聡明なディラックの海のイルカ君を登場させて、それについて“一個の負電荷の不在は一個の正電荷の存在と同じ(ディラック)”といている(ガモフ全集4)。1932年にアメリカの物理学者アンダーソンが、霧箱内の金属板に高エネルギーの宇宙線光子(γ 線)の照射により発生する電子対(陽電子と陰電子)を発見した。他方、陽電子はふつうの物質の中を飛んでいくと、ふつうの負電子と衝突して消滅し、両方の質量と等価なエネルギーを γ 線として放出することが、実験的に確認された(ガモフ全集10)。

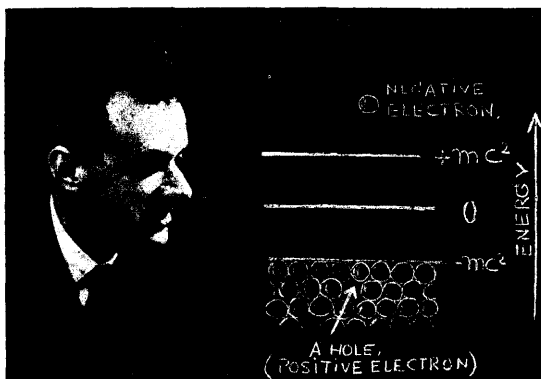


図3. ポール・ディラック Paul Adrian Maurice Dirac (イギリス人、1902～1984)と彼の空孔理論を示す(ガモフ全集、別巻中より借用)。ディラックの方程式から電子のスピンの(旋回)と陽電子の存在を予見し、1933年ノーベル物理学賞。ディラックの海(真空空間を占めている異常で一樣な負の電子=ディラック粒子)の負の質量をもっている負電子がその場所から飛び出すと、その海の中の空孔は、反対符号の、つまり正の質量をもつという(空孔理論)。ガモフは、“質量の負符号が二つ重なる $[-(-m)]$ 、否定の否定—筆者]結果として、ディラックの海の空孔は、正の電子電荷と正の電子質量をもつ通常の粒子(電子)として行動するに違いない”と説明している。ここだけ見れば、一つの代数学的な“否定の否定”の例として挙げることができる。

ここでもアインシュタインの法則は、物質とその運動形態の密接な関係とそれらの相互転化(物質からエネルギーへ、あるいはエネルギーから物質へ)という弁証法の好例を示している。なお、ごくごくたまにニュートリノが検出箱中のプロトン(水素)に衝突した場合に、プロトンが中性子と陽電子に変る。この電荷もなく質量もゼロに近い、エネルギーだけのニュートリノは恐ろしいほどの物質透過性をもっている(数光年の鉛板でやっと半分のニュートリノをストップさせることができるという)。地球もなんなく通り抜けることができるわけだから、岐阜県の新岡鉱山(亜鉛鉱石の産出地。亜鉛鉱に微量に含まれるカドミウムが神通川に流れ込み、富山県側の下流域住民に四大公害病の一つ、イタイイタイ病の発症で有名)の地下1000mにあるスーパーカミオカンデが宇宙からのニュートリノをとらえることのできる謎がここにある。

マイケルソンの1887年の巧妙な実験は、“世界エーテル”中の光の運動を検出できなかった、つまり、エーテル風で光の速度を遅くすることができなかったののでエーテル理論の仮説を完全に否定した。このように、エーテル理論は当時のエンゲルスにも影響を与えたが、“たがいに矛盾しあっているこうした諸仮説から一つの確固とした核心があらわされてくるまでには、まだ莫大な時間の経過と多大な労力の消費を見るであろう。そこにいきつくか、あるいはなにかまったく新しい別の理論がこのエーテル理論をも駆逐してしまうまでは、電気学はみずからそれが誤りであると認めている表現方法を用いなければならないという不愉快な状態におかれている”と、エーテル理論が否定される可能性もあること、つまり混乱した時代における相対的真理であることを指摘している。また、“エーテル理論は、一面では、二つの対立する電気流体(+電気と-電気がそれぞれ反対方向に流れると考えること)と言う素朴な観念を克服する道を示すとともに、他面では電氣的運動の本来の物質的基体となっているものは何か、その運動によって電氣的現象をよびおこしているのはいかなる物であるかを解明する見通しを与えている”と、将来的な展望を指し示し、エンゲルスの面目躍如たるものがある。上述のように、エンゲルスも電気現象が目に見えない物質の相互作用によることを見抜いていた。事実、原子構造の発見によって、電子(e^-)が電氣的運動の物質的基体であることが明らかにになった。現在、熱エネルギーまたは化学的エネルギーを得た自由電子が針金中を移動することで電気は生じると説明されている。マイケルソンとアイン

シュタインの二人がエーテル理論を否定し、光や電子の粒子性と波動性(電磁波)を結びつけた形の物理学=波動力学の端緒が開かれた。

ニュートンは光の直進性と鏡による反射から光の粒子性を信じた。生涯、光の波動性を受け入れなかったが、ニュートン環の現象を光の連続性と解釈して、二つの性質を混ぜ合わせたフィットの理論を提唱した。時代的な制約で認知されなかったが、“天才的な予感と見なすことができる”，とド・ブロイは述べている。エンゲルスの時代には光の粒子性、ましてや電子の波動性については知られていなかった。初めて光の波動説を提唱したホイヘンスやフレネルによる光の干渉や回折現象の解明によって(弾性エーテルの存在を仮定した)、光の波動性が優位を占めていた時代に、光電効果の現象から再び光の粒子性に確信を抱き、その相反する性質の見事な統一(対立するものの相互浸透)から光の粒子性と波動性を数式で表現したのがアインシュタインだった。光の粒子説は一度否定されて波動説にとって変わられ、再び波動説が否定されて粒子説にもどったが、それは単なる昔の、ニュートン時代の粒子説の復活ではなく、より豊かな内容を含んだ(振動という波の性質をも含んだ)光量子説にとって代わられた(否定の否定)。おそらく、自然をもっともよく反映した弁証法を知らなかったアインシュタインが、誰よりもそのことを良く知っていたエンゲルスよりも光の問題を弁証法的に解決したといえる。当時のエンゲルスは光に対するニュートンやホイヘンスなどの対立的な考えを知っていたと推測されるが、電気現象のほうに興味と関心が集中し、電子の存在を知らないままエーテル理論に依拠したものと考えられる。

20世紀初めの一部の物理学者や哲学者は、原子が不変なものではない(原子核変換など)ということに直面して、“物質は消滅した”とか、“物質を認識することはできない”などと悲愴的なまでの混迷に陥った。エンゲルスをはじめ、弁証法的唯物論の創始者たちなら、このような混迷に陥らなかつたであろうことは確信をもって言える。近代の分析的な科学の発展が、“……自然の事物や自然過程を個々ばらばらに、大きな全体的連関から切り離してとらえるという習慣、したがって、運動するものとしてではなく固定した恒常的なものとして、生きているものではなく死んだものとしてとらえるという習慣をわれわれに残した。このことが特有な狭さ、すなわち形而上学的な考え方をつくりだした”(エンゲルス)、という弁証法とは正反対な、日常的、常識的な変化のない固定的な観念にアイ

ンシュタインがしばられていたら、科学史に残るような発見はできなかったであろう。無意識的にしろ、事態を結果として肯定的、弁証法的に解決したところがアインシュタインの偉大さといえる。これをもってアインシュタインを唯物論的と批判するのはためにする行為である。

運動形態の移行

“一つの運動形態から他の運動形態に移行するときには、ある形態のあるきまった運動の量にはいつも別の形態の厳密にきまったある運動の量が対応している”(エンゲルス)と、次にエネルギーの変換と保存が語られている。高校の教科書では、“エネルギーの変換においては、それに関係したすべてのエネルギーの和が一定に保たれる。”となっている。これは、マイヤーの「エネルギー保存の法則」(1842年)をさしている。

ここでエンゲルスは、ヘルムホルツの通俗講演集(1871年)に触れてこんなことを言っている。“ヘルムホルツは、運動の量的不変性についてのデカルトの命題の自然科学的証明について、その功績が、マイヤー、ジュール、コルディングの他に自分自身(ヘルムホルツ)にもあるとしたいと思っているらしい”，と、それに対して、そこには「力の保存」と一つの系のさまざまな物体間にはたらく諸力の中心的作用とが、同じ事柄についての二つの異なった表現にすぎないという、きわめて価値のある数学的な論述と、あたえられた力学的系のなかでの活力と張力との和は一定であるという法則のいっそう厳密な定式化以外に新しいところはない、ことを指摘している。マイヤーは1842年にすでに“力の不滅性”を主張していたし、1845年には新しい見地から「さまざまな自然諸過程のあいだの諸関係」について1847年のヘルムホルツよりもずっと天才的な事柄を語ることができたと、いささか手厳しい。

エネルギーを反発ととらえるか牽引ととらえるかは単なる形式上の区別ではない

エネルギーは反発であるという、今では(エンゲルスの時代)ほとんど一般的な新しい見解に対して、ヘルムホルツは力ということばでとくに牽引のことを指している(前述)。このことから、エンゲルスは反発と牽引を形式上の区別といってすますことができるだろうか、と疑問を呈している。

エンゲルスは次のように説いている。“宇宙においては牽引と反発はまさに補償しあっており、したがっ

てこうした関係のどちら側を正とおくか負とおくかは
 どうでもよいように思われる”。牽引は反発に移行し、
 反発は牽引に移行するから、どちらを正にするか負に
 するかは問題ではないと考えられる、ということ。ち
 ょうど任意の線上の一点から正の横座標を右のほうに
 とるか、左のほうにとるか、そのこと自体としては
 どうでもよいのと同じだといっている。しかし、地球
 上に生じている諸現象の場合はそういうわけにいか
 ないとして、次のように説得している。太陽系はどの瞬
 時でも莫大な運動の量(太陽熱=反発)を宇宙空間内に
 放出している。ところが、地球自体はただこの太陽熱
 によってだけ生命を与えられている。地球は地球で、
 受け取った太陽熱(牽引)を、その一部は他の運動の形
 態に変えたのち、結局は同じ宇宙空間に放射している
 (反発)。だから、太陽系では、そしてとりわけ地球上
 では、牽引はすでに反発に対していちじるしい優位を
 保持するようになっていて、これは地球からの反発運
 動が牽引よりも少なくなってしまうということ。
 地球は太陽からの熱を牽引して、それを反発によ
 って宇宙に放射した。しだいに反発する熱は少なくな
 り、自らは冷却してきている。しかし、太陽から反発
 される熱を牽引しなければ地球は存続できない。だか
 ら、“太陽からわれわれのところに放射されてくる反
 発運動がなければ、地上の運動はすべて停止してしま
 うにちがいない。かりに太陽が冷却すると、地球上の
 牽引のほうは、その他の事情が変らなければ、今日そ
 れがあるままにとどまるだろう。100kgの石はそれが
 もとあった場所ではあいかわらず100kgの重量を示
 す。ところが、運動の方は、物体の運動であろうと原
 子や分子の運動であろうと、われわれの観念では絶対
 的静止(絶対零度)とよばれるべきものに到達するであ
 ろう”。したがって、“今日の地球上で生じている諸過
 程にとっては、牽引ないし反発のどちらを運動の能動
 的な側面(「力」あるいは「エネルギー」)としてとら
 えるかは、けっしてどうでもいいことではない。”と
 結論している。地上での運動の全ては太陽熱の反発の
 結果としてもたらされるのだから、太陽が冷却すると
 地上での能動的な運動(反発)が起こらないので、牽引
 (受動的な運動)のみが起こる。だから、反発を牽引と、
 牽引を反発ととりかえることはできないのだ、という
 ことである。

「エネルギー」という表現は、①運動関係の一側面
 しか含んでいない(作用は包括しているが、反作用を
 包括していない)という点と、②あたかも「エネルギ
 ー」が物質の外にあるもの、物質に外から与えられた

ものであるかのような外観を与える、という二つの弱
 点があるが、それでも、どんな場合にも「力」という
 表現よりはすぐれている、ことを強調している。エネ
 ルギーは物質の中に内在する(太陽の反発のエネルギ
 ーによって与えられている)ものというとならえかたは
 重要である。そのことをアインシュタインは数学的に
 表現した。

力という観念について

力という言葉は(ヘーゲルからヘルムホルツにいた
 るまでが認めているように)、人体がその環境の中で
 行う活動から借用してきた観念であるとまず述べてい
 る(筋肉の力、物を持ち上げる腕の力、脚の跳躍運動、
 胃腸の消化力、神経の感受力、腺の分泌力などを挙げ
 ている)。“いいかえると、自分たちの身体のある機能
 によって起こされた変化の真の原因をあげる労をはぶ
 くために、われわれは虚構の原因をもってこれに代え、
 その変化に対応する力なるものですりかえる。この便
 利な方法を外界にたいしても転用した結果、さまざま
 な現象があるとその数だけの力を案出するのである。”
 この部分は、分からない現象に対して安易にとりあ
 えず力という観念を適用するという習慣を生んだ、と理
 解できる。「電気」の章の中で、“どのような自然科
 学においても、力学においてさえ、力ということばを
 脱却すれば、それはいつでも進歩なのだ”とある。

“磁石は吸引する力をもつというよりは、磁石は霊
 魂を持つというほうがましである。力は、一つの述語
 として、物質から分離しうるものと考えられる一種の
 性質である。これに反して霊魂はこの自分で動くとい
 うことであり、物質の本性と同一のものである”(ヘ
 ーゲル)と、やたらに力なる名称をつけたがる当時の
 やり方を批判したヘーゲルの『哲学史』中の一文を引
 き合いに出している。ヘーゲルが霊魂を信じていたか
 どうかは分からないが、すくなくとも霊魂の存在を信
 じていないエンゲルスがあえてこの例文を引用したと
 ころがおもしろい。外部からおしつける力という観念
 よりも、物質の内部に存在するだろう霊魂(前述の物
 質の中にエネルギーは内在するというを想起して
 もらいたい)で運動を説明するほうがまだましだとい
 うこと。たぶん、いくらか諧謔性があるので引用した
 のであろう。

ヘルムホルツの「力」は何を意味するか

再びここでヘルムホルツの通俗講演集(1871年)の
 内容がとりあげられている。“たとえばわれわれは光

の屈折の法則を透明な物質の光屈折力として客観化し、化学的な選択的親和性の法則をさまざまな物質の相互のあいだの親和力として客観化する。このようにして金属の電気的な接触力、粘着力、毛管張力、その他といったことがいわれているのである。……力とは客観化された作用法則にすぎない。……すなわち、われわれは諸現象の原因である力を探しださねばならない。”（ヘルムホルツ）。また、客観的な威力として現れる法則を力とっている。前述したようにやたらに力を使っている見本といえる。これに対してエンゲルスは、“すでに完全に客観的になっているある自然法則に、力という純粋に主観的な観念をもちこむのは、奇妙な客観化の仕方である。いったん確立された法則に力なるものをしのびこませたところで、その法則にも、その法則の客観性ないしはその作用の客観性にも、新しい客観性などほんのわずかも付け加わらない。さっぱり分からないある力によってこの法則は作用しているのだというわれわれの主観的な主張が加わるだけである。”と反駁している。ヘルムホルツのいう客観化は、法則を完全に認識したからではなく、まさにそうではないからこそ、そうした場合にしばしば力という便利なことばに逃げこんでいる、ということ。だから、力が表現しているのは、法則の本性とその作用のし方についてのわれわれの知識ではなく、そうした知識のわれわれにおける欠如なのだ、とっている。ヘルムホルツの“われわれは諸現象の原因である力をさがさなければならない”というのは、力の本性を探求することではなく、いろいろな現象にあった力ということばを見つけることなのである。

続いて、“自然過程はすべて二面的であって、すくなくとも二つの作用しあう部分の関係、作用と反作用とにもとづいている。”（エンゲルス）とあり、力という表現は作用という一面のみを表現しているという点でも不都合である、とっている。その原因として、“力の観念は人体の作用と、地上の力学に由来する観念であるために、作用の面だけが能動的・作用的であって、反作用はせいぜいのところ受動的・受容的なもの、あるいは抵抗としてとらえられがちであるから”だと、運動のたんなる伝達とか、その量的な計算が問題になるところでは作用という一面だけのとりあつかいは許される。しかし、物理学のもっとこみいった過程になると、もはやそうした考え（作用のみでは）では通用しなくなる。例えば、光の屈折力は、それが透明な物質の中に存在するのと同じ程度には、光そのものにも存在する。エンゲルスは光が波でもあることを知

っていて、その性質が光の屈折力の原因であること＝光そのものにも屈折力がある、と表現したのであろう。

さらに“粘着や毛細管現象の場合には、「力」は固体表面にも液体表面のなかにも確かに同じように存在している。接触電気（静電気）の場合には、両方の金属がこの現象に寄与していることだけはいずれにしても確実だし、「化学的親和力」は、もしそれがどこかに存在しているとすれば、いずれにせよ結合しあっている両方の部分に存在する。”とっている。作用と反作用がなかなか一般的に理解されない理由について次のように述べている。“地上の力学の根本条件は、第一に衝撃の原因、つまりその時々の方の本性をしらべることを拒否すること、第二に地上の落下距離にたいしても地球の半径＝ ∞ （無限大）がなりたつとしているように、力にたいしてはどんな場所にあっても常に同じ大きさの重さを対置させて考えると力の一面という考え方にある（このところ筆者にはよく理解できない。物体が落下する場合も空気という物質の抵抗を受けるということが考慮されていない、ということか？）”と。

こういうことで、“分離された二つの力からなりたつ一つの力とか、自分自身にたいする反作用を起こさせることなく反作用をうちに含みかつ担っているというような作用なるものは、力とは何を意味するかを分かっているただ一つの科学、地上の力学の意味での力ではない”と、ヘルムホルツなどのような弁証法的なものの見方のできない物理学者の一面的な見解を述べている。この部分は難解な文章である。“自分自身にたいする反作用をおこさせることなく”とは何を意味するのか。作用する物質自身が自分に反作用を及ぼすのではなく、たとえば、弾丸はそれ自身では撥ね返ることはできなく、必ず、弾丸をはじき返す壁などの相対する物質の存在が必要ということ。“反作用をうちに含みかつ担っているというような作用”とは、壁に作用する弾丸は必然的に壁にはじき返されるから、作用するうちに反作用を含んでいるということになる。

ヘルムホルツはどのようにして「力」を自然法則のうちに「客観化」したか

ここでは、1854年のヘルムホルツの通俗講演「自然諸力の相互作用とこれに関する物理学の最新の研究」を引き合いに出して、ヘルムホルツは、“わが太陽系を形成してきた星雲球がはじめに所有していた「仕事の貯え」を研究している、とっている。

ヘルムホルツとエンゲルスのいっていることを引用

して説明すると、“実際、この点(仕事力)については、そのあらゆる部分の相互間の普遍的引力という形だけでも、莫大な量のいわば持参金がそれに与えられていた”。“化学的な力もまたすでに存在していて、作用するばかりになっていたにちがいない。しかし、これらの力は異種の物体がぴったりと接触してはじめて作用しうようになるのだから、それらの活動が始まるにさきだってまず凝縮が起こったにちがいない”(ヘルムホルツ)。それに対して、エンゲルスは“この化学的な力を親和力、したがって引力と解するならば、これらの化学的な力の総和が太陽系内にやはり減りもせず存在しつづけているといわなければならない(エネルギー保存の法則から)”といっている。“はじめにあった力学的な力のおよそ453分の1だけが、力学的な力としてなおも存続している”(ヘルムホルツ)。ところが、“引力は、普遍的な(万有)引力も化学的な引力も、太陽系ではなおも失われずに存在している。ヘルムホルツによれば、莫大な持参金は莫大な仕事をした。しかし、そのことによってそれらの力は増えも減りもしないのである。すなわち、その重さは失われても減ってもいない。われわれは各元素の与えられた総量を相変わず保有し、従前どおりの強さのままで存続している親和力の総量をもちつづけている”(エンゲルス)。ではわれわれは何を失ったのかとエンゲルスは疑問を呈する。“これ以上になお熱という形の貯えが(原初)に存在していたかどうかはわからない”(ヘルムホルツ)とこの点については何の解答も与えてくれないと批判する。それに対して、“熱は反発的な力であり、重さや化学的な吸引とは逆の方向に作用し、これら(吸引)の力を正とおけば、それは(反発)負なのである”(エンゲルス)。だから、ヘルムホルツが彼のはじめの力の貯えを普遍的な吸引と化学的な吸引とを加えてつくりあげたとすれば、その他になお存在している熱(=放射された熱)の貯えは、この力の貯えに加えることはできないのであって、むしろ引き去らなくてはならない。

この後に、ヘルムホルツのように熱を吸引(加える)ととらえると奇妙なことがおこることになると、次の例をあげている。太陽熱によって地球上の水は蒸発して(反発)、エネルギー(熱)を放出するのだが、この考えに立たないと(反発の結果としての熱を引き去ること―筆者)、太陽熱によって水は蒸発しても(エネルギーを失っても)、エネルギーが熱という形で貯えられる結果、引力が増すという奇妙なことになると。また、熱い鉄管に水蒸気を通した場合、じっさいは酸素と水

素の化学的引力はこの熱によって引き離されるにもかかわらず、その熱が逆に化学的引力を強める(牽引)という奇妙なことになると。こうして、“熱の形態での反発運動のある量が牽引という運動形態に加わり、その総和(力=エネルギー)を増大させるという可能性を前提することで、ヘルムホルツは決定的な誤算をおかしている”といっている。

“われわれはたんに、ガス球の中にそれが独立する瞬間に存在していた反発運動あるいはいわゆるエネルギーの和をおかなくてはならない”(エンゲルス)。そうすると、ヘルムホルツが“星雲状の散在した物質からここに仮定している初期凝縮をつうじてわが諸天体が完成したとき、発生したにちがいない発熱量”を算出している計算も正しいことになる(エンゲルス)。このようにして、「力の貯え」全体を熱、すなわち反発に帰着させることによって、ヘルムホルツは推測上の「熱の貯え」をこれに加算できるようにしている、と肯定している。そうすれば、ガス球の中にもともと存在していたエネルギー、つまり反発全体の453/454が熱の形で宇宙空間に放射されたこと、もっと厳密に言えば、今日の太陽系における牽引全部の和と、系内にまだ存在している反発全部の和との比は454(牽引):1(反発)であるということが出来る(エンゲルス)。現在の地球上で牽引が反発より優位であるという先の主張が導きだされる。しかし、そのときヘルムホルツの講義本文とそれを証明するための計算が矛盾することになる(エンゲルス)、つまり講義では熱は加えられなくてはならないといっているのに、計算上はそれを引いているという矛盾を指摘している。

最後に、ヘルムホルツほどの物理学者が力という概念を混乱して使っているということは、計算的な力学(=地上の運動をあつかう物理学)を超える研究分野で科学的な使用に耐え得ないことのないものによる証明だといっている。力学では運動の原因や起源を考慮しないで、作用だけを問題にしているから、運動の原因を力といっても力学そのものにとって何の害にもならないが、力学以外の物理学、化学、生物学に力の概念を適用すると混乱を生じる(エンゲルス)と。

このように、エンゲルスはヘルムホルツの力の概念の使い方をとりあげながら、いかに間違った使用のされかたをしているかについて逐一論駁している。ヘルムホルツの名誉のために、K. J. レイドラーの『エネルギーの発見』に書かれていることを少し紹介したい。彼は、“1847年にヘルムホルツは『力の保存について』という著書を出版し、その中でエネルギー保存の問題

をきわめて包括的に扱った(ここでもエネルギーを意味する「力」という言葉が使用されていることに注意されたい—レイドラー)”と述べている。上述のようにヘルムホルツの「力」をエネルギーと解釈するのはかなり好意的過ぎるし、正しい解釈とはいえない。また,”この著書ほど、エネルギー、熱、仕事に関する近代的な見解を研究者たちに受け入れさせた本はなかった”と叙述している。エンゲルスはヘルムホルツの「力」が何を意味するかについて、上述のように縷々批判した。オックスフォード大とケンブリッジ大から教授職を依頼され(当時ベルリン大の教授になり、どちらも辞退した)、エネルギーの小さな塊である量子の概念(量子論)の導入で1918年にノーベル物理学賞をもらったプランクに大きな影響を与え,”ドイツ物理学の帝国宰相”と謳われたヘルムホルツに対するエンゲルスのこれほど一般から乖離した批判の原因は、ヘルムホルツによる力の概念の多用という単純な事実にある。当時あるいは後世の物理学者は、ヘルムホルツの“力”を安易に“エネルギー”と解釈することで彼を救済した。それに対し、エンゲルスはヘルムホルツにとって“力”とは“神の手”あったことを教えてくれる。

現在の生命科学者は抽象的な「力」の概念にたよることなく、生命をになう物質の探索とその相互作用の研究に、意識するとしないとにかかわらず弁証法的に従事しているといつてよい。そこには、まだまだエンゲルスの思想を豊かにする(弁証法を検証する)材料に満ち満ちている。

最後に、本稿を簡単に要約すると、(1)高度に複雑化した自然科学を把握するには、ますます弁証法的な思考が必要とされている。(2)物質を構成する微粒子の謎に、いろいろな側面から挑戦した多くの有能な物理学者の飽くなき探求心とその奥深さに魅了された。また、偉大な発見の栄誉は、硬直して融通の利かない形而上学によってではなく、柔軟な弁証法的な思索によって支えられている、の二点にまとめられる。

今回は、今回の「運動の諸形態」を踏まえて、“仕事”の概念「運動の尺度。—仕事」(『自然の弁証法』)を取り上げたいと思う。よくいわれているように、デカルトとライプニッツの「活力論争」は本当に無駄な論争だったのか、そしてダランベールの鶴の一声でその論争に決着がついたのか、についてエンゲル

スの考えを紹介したい。

参考

- 1)スタンダール著(桑原武夫、生島遼一訳)、『アンリ・ブリュッラルの生涯』、岩波文庫(上下)、第4刷(2007)
- 2)R.E. ラップ著(八木勇訳)、『発見への道』、岩波書店、第3刷(1967)
- 3)レーニン著(松村一人訳)、『哲学ノート(第一分冊)』、岩波文庫(1971)
- 4)ヘーゲル著(松村一人訳)、『小論理学(上巻)』、岩波文庫(1972)
- 5)エンゲルス著、「運動の基本的諸形態」自然の弁証法」(『マルクス・エンゲルス全集』)、20巻(大内兵衛、細川嘉六 監訳)、pp.385-402、大月書店(1974)
- 6)エンゲルス著、「電気」反デューリング論」(『マルクス・エンゲルス全集』)、20巻、pp.427-481、大月書店(1974)
- 7)エンゲルス著、「反デューリング論序説」(『マルクス・エンゲルス全集』)、20巻、p.25、大月書店(1974)
- 8)ルイ・ド・ブロイ著(河野与一訳)、『物質と光』、岩波文庫(1972)
- 9)ジョージ・ガモフ著、『ガモフ全集』、4(伏見康治訳、1970、第6刷)、7(伏見康治訳、1971、第16刷)、10(鎮目泰夫訳、1971、第14刷)、11(白井俊明訳、1971、第6刷)、別巻上(伏見康治、鎮目恭夫訳、1970、第5刷)、別巻中(伏見康治、鎮目恭夫訳、1972、第7刷)、白揚社。
- 10)B. A. チェルノゴロフ著(北門新作訳)、『身近に見る原子核』、講談社(1981)
- 11)キース・J・レイドラー著(寺島英志訳)、『エネルギーの発見』、青土社(2004)
- 12)『高等学校 物理 I』、教研出版(2004)
- 13)樋浦明夫、F. エンゲルスの生家を訪ねて—若きエンゲルスの追想—、徳島科学史雑誌、23巻、pp.47-58(2004)
- 14)朝永振一郎著、『新版 スピンはめぐる』、みすず書房(2008)
- 15)“ニュートリノの名ぞにいどむ—素粒子と宇宙にまたがる研究の進展—”梶田隆章著、pp.65-85、『自然の謎と科学のロマン(上)、宇宙と物質・編』(平林、益川他)、新日本出版者、第4刷(2008)